

объектов и т.д. Другой сферой назначения является строительство спортивных объектов, объектов, ангаров для содержания оборудования и его ремонта, производственных цехов и складских помещений. Работы запланированы на 2006-2007 г.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЕРЕВООБРАБОТКИ
ПО ПАРАМЕТРУ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ
«ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ»**

Новоселов В.Г., Рогожникова И.Т. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

vgnov@usfeu.ru

**THEORETICAL RESEARCH OF RELIABILITY OF TECHNOLOGICAL
WOODWORKING SYSTEM ON PARAMETER OF PRODUCTION
QUALITY "THE SURFACE ROUGHNESS "**

Технологическая система деревообработки в соответствии с ГОСТ 27.004-85 [1] включает в себя функционально взаимосвязанные средства технологического оснащения – станок, предмет производства – деревянную заготовку и исполнителя – станочника по деревообработке, выполняющие в регламентированных условиях производства заданную технологическую операцию. Шероховатость обработанной поверхности является одним из основных показателей качества изготовления, принимаемого за критерий надежности технологической системы по параметрам продукции.

Жесткие режимы эксплуатации инструмента при обработке древесины и древесных материалов в станках: скорость резания ($V > 30$ м/с), коэффициент трения ($f=0,2 \dots 0,5$), температура в зоне резания ($t=800 \dots 840^\circ\text{C}$) и удельное давление в контакте резца с древесиной ($p=400 \dots 5000$ МПа) [2] приводят к высокой интенсивности изнашивания инструмента, быстрому его затуплению, потере режущих свойств и снижению качества обработки. При работе шероховатость обработанной поверхности детали постепенно выходит за пределы максимально допустимых значений, т.е. происходит отказ и наступает неработоспособное состояние технологической системы по параметру качества продукции «шероховатость поверхности».

В ГОСТ 27.301-95 [3] предусмотрены физические методы расчета надежности, основанные на применении математических моделей, описывающих физические, химические и иные процессы, приводящие к отказам объекта, и вычислении показателей надежности по известным параметрам нагруженности объекта, характеристикам применяемых в объекте веществ и материалов, с учетом особенностей его конструкции и технологии изготовления.

Модель потери качества по параметру «шероховатость поверхности» и закономерности возникновения соответствующих отказов в зависимости от износа дереворежущего инструмента рассмотрены в работе [4]. Средняя наработка до отказа T_1 определяется через математические ожидания параметров по формуле

$$T_1 \approx \frac{16,7}{k \gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{z \max}}{\bar{R}_{zo}}, \quad (1)$$

где k - коэффициент пропорциональности экспоненциальной зависимости шероховатости R_z от радиуса затупления резца ρ (рис. 1); γ_{Δ} - интенсивность изнашивания – величина затупления режущей кромки в микрометрах на одном метре пути резания; n - частота вращения инструмента, мин⁻¹; Π - припуск на обработку; D_p - диаметр окружности резания; R_{zo} – параметр шероховатости поверхности, обработанной остро заточенным инструментом ($\rho = \rho_o$); $R_{z \max}$ – параметр шероховатости поверхности, обработанной затупленным инструментом ($\rho = \rho_{\max}$).

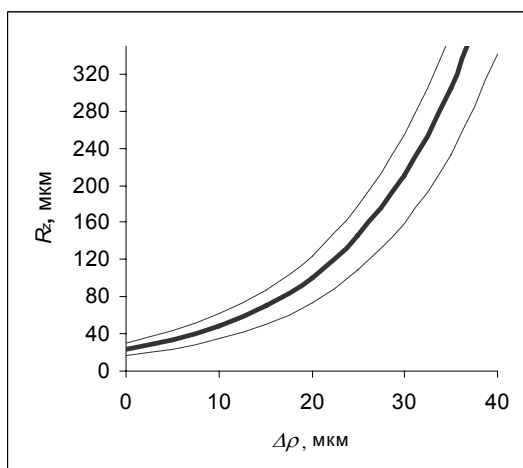


Рисунок 1 – Зависимость шероховатости от радиуса затупления лезвия

Гамма-процентная наработка до отказа при $\gamma=80\%$ определяется по формуле

$$t_{0,8} = \bar{T}_1 - 0,841 \sigma_t. \quad (2)$$

где T_1 , σ_t – математическое ожидание (среднее значение) и среднее квадратическое отклонение наработки до отказа.

Среднее квадратическое отклонение наработки до отказа σ_t определяется через дисперсию $D\{t\}$ как для функции случайных величин

$$\begin{aligned} \sigma_t^2 = D\{t\} = & \left(\frac{\partial t}{\partial R_{zo}} \right)^2 D\{R_{zo}\} + \left(\frac{\partial t}{\partial R_{z \max}} \right)^2 D\{R_{z \max}\} + \left(\frac{\partial t}{\partial \gamma_{\Delta}} \right)^2 D\{\gamma_{\Delta}\} + \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)^2 D\{n\} + \\ & + \left(\frac{\partial t}{\partial k} \right)^2 D\{k\} + \left(\frac{\partial t}{\partial \Pi} \right)^2 D\{\Pi\} + \left(\frac{\partial t}{\partial D_p} \right)^2 D\{D_p\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Ниже приведены формулы для определения частных производных:

$$\frac{\partial t}{\partial k} = -\frac{16,7}{\bar{k}^2 \gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{z \max}}{\bar{R}_{zo}}; \quad \frac{\partial t}{\partial \gamma_{\Delta}} = -\frac{16,7}{\bar{k} \gamma_{\Delta}^2 n \sqrt{\Pi D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{z \max}}{\bar{R}_{zo}}; \quad (4,5)$$

$$\frac{\partial t}{\partial n} = -\frac{16,7}{\bar{k} \gamma_{\Delta} n^2 \sqrt{\Pi D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{z \max}}{\bar{R}_{zo}}; \quad \frac{\partial t}{\partial \Pi} = -\frac{16,7}{2 \bar{k} \gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi^3 D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{z \max}}{\bar{R}_{zo}}; \quad (6,7)$$

$$\frac{\partial t}{\partial D_p} = -\frac{16,7}{2 \bar{k} \gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi D_p^3}} \ln \frac{\bar{R}_{z \max}}{\bar{R}_{zo}}; \quad \frac{\partial t}{\partial R_{z \max}} = \frac{16,7}{\bar{k} \gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi D_p} \bar{R}_{z \max}}; \quad (8,9)$$

$$\frac{\partial t}{\partial R_{zo}} = -\frac{16,7}{\bar{k} \gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi D_p} \bar{R}_{zo}}. \quad (10)$$

Исследование надежности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «шероховатость поверхности» производилось методом численного эксперимента на основе разработанной физической модели расчета. Задачей

эксперимента являлось определение количественной зависимости гамма-процентной наработки до отказа непосредственно от факторов процесса обработки древесины.

Ввиду многомерности модели исследование проводилось в два этапа. На первом этапе оценивалась чувствительность модели к изменению факторов, подверженных рассеянию в малых окрестностях около средних на диапазонах своих допустимых значений. Для проведения эксперимента все факторы были распределены на фиксированные и варьируемые.

Фиксированными факторами принимались:

вид обработки – продольное цилиндрическое фрезерование;

тип, модель станка – односторонний рейсмусовый СР6-10;

порода древесины – сосна;

влажность - 12 %;

толщина заготовки – 50 мм.

В качестве варьируемых факторов приняты параметры, входящие аргументами в правую часть формулы (1), а также их дисперсии, входящие в правую часть формулы (3). Диапазоны варьирования факторов – параметров формулы (1) - от их основного уровня принимались равными средним квадратическим отклонениям в пределах их допустимых по ГОСТ (или достижимых) отклонений. Дисперсии факторов принимались в соответствии с их средним квадратическим отклонениям. Варьирование дисперсий, входящих в правую часть формулы (3), производилось на уровнях допустимых погрешностей инженерных расчетов в пределах $\pm 3\%$.

Интенсивность изнашивания γ_{Δ} зависит от материала инструмента, вида обработки, режима и пути резания, от породы древесины. Она оценивается для стального инструмента величиной $\gamma_{\Delta}=0,0008\dots 0,0020$ мкм/м [5].

Частота вращения инструмента для двухстороннего рейсмусового станка СР6-10 составляет $\bar{n}=4570$ мин⁻¹. Ее дисперсия связана с изменением под нагрузкой скольжения в электромагнитной системе двигателя ($s_{max}\approx 0,02$) и упругого скольжения в ременной передаче ($\xi_{max}\approx 0,02$). Суммарная величина диапазона рассеяния может достигать $\delta_n=\pm(\sqrt{0,02^2+0,02^2})n\approx\pm 0,03n$.

По ГОСТ 7307-75 [6] припуск на обработку составляет 4,5 мм на две стороны. Предельные отклонения размеров пиломатериалов при заданной толщине $\pm 2,0$ мм, следовательно предельные значения припуска на одну сторону составят $\Pi=(4,5-2)/2\dots(4,5+2)/2=1,25\dots 3,25$ мм.

Диаметр окружности резания для данного станка $\bar{D}_p=128$ мм, его поле допуска при тщательной настройке 0,05мм.

При начальном радиусе закругления остро заточенного лезвия режущего инструмента $\rho_0 = 4\dots 10$ мкм шероховатость составляет $R_{zo} = 16\dots 30$ мкм.

Допускаемая шероховатость после обработки древесины продольным фрезерованием по ГОСТ 7016-82 [7] $R_z = 16 - 250$ мкм.

Принятые значения факторов, их допускаемые отклонения, дисперсии, средние квадратичные отклонения, уровни варьирования, кодированные обозначения приведены в табл.1.

Таблица 1 - Кодирование факторов численного эксперимента

Формульное обозначение факторов	Номинал	Верхний предел	Нижний предел	Допуск	Среднее квадратичное отклонение	Верхний уровень	Нижний уровень	Кодированное обозначение факторов
R_{zo}	23	50	25	14	2,33	25,33	20,67	X_1
R_{zmax}	205	250	160	90	15	220	190	X_2
n	4570	4635	4505	130	21, 7	4591, 7	4548,3	X_3
k	0,0739	0,0765	0,0713	0,0052	0,00087	0,0748	0,0730	X_4
γ_{Δ}	0,0014	0,0020	0,0008	0,0012	0,0002	0,0016	0,0012	X_5
Π	2,25	3,25	1,25	2	0,333	2,583	1,917	X_6
D_p	128	128,025	127,975	0,05	0,0083	128,0083	127,9917	X_7
$D\{R_{zo}\}$	5,44	-	-	-	-	5,608	5,281	X_8
$D\{R_{zmax}\}$	225	-	-	-	-	231,75	218,25	X_9
$D\{n\}$	469,4	-	-	-	-	483,53	455,36	X_{10}
$D\{k\}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$					$7,74 \cdot 10^{-7}$	$7,28 \cdot 10^{-7}$	X_{11}
$D\{\gamma_{\Delta}\}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$	-	-	-	-	$4,12 \cdot 10^{-8}$	$3,88 \cdot 10^{-8}$	X_{12}
$D\{\Pi\}$	0,1111	-	-	-	-	0,1144	0,1078	X_{13}
$D\{D_p\}$	$6,94 \cdot 10^{-5}$	-	-	-	-	$7,15 \cdot 10^{-5}$	$6,73 \cdot 10^{-5}$	X_{14}

Учитывая поставленную задачу выявления степени влияния каждого отдельного фактора на гамма-процентную наработку до отказа и малые диапазоны их варьирования, определялась линейная регрессионная зависимость без учета взаимодействий вида

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i . \quad (12)$$

Ввиду большой размерности модели ($n=14$) при проведении эксперимента использовался дробный план типа 2^{n-m} , где m -количество независимых факторов, которые заменены в матрице плана пренебрежимыми взаимодействиями ($m=7$). Таким образом, количество опытов в численном эксперименте сокращено с 16384 до 128.

Математическая обработка результатов проведенного численного эксперимента дала значения коэффициентов уравнения регрессии (12), приведенные в табл.2.

Таблица 2 – Коэффициенты уравнения регрессии

b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{14}
3,9895	-0,1836	0,1380	-0,0189	-0,0468	-0,5030	-0,2779	-0,00005	-0,00068	0,0005	0,0021	0,0231	0,0055	-0,0020	-0,0007

Анализ данных таблицы показывает, что коэффициент b_0 с точностью до 2 % совпадает со значением 80-процентной наработки до отказа, вычисленной по номинальным (средним) значениям параметров, входящих в формулы (1)-(10), что подтверждает адекватность линейной регрессионной модели. Сравнение коэффициентов регрессии указывает на то, что наибольшее влияние на 80-процентную наработку до отка-

за оказывает изменение таких факторов как: шероховатость поверхности в начальный период работы инструмента и максимально допустимая шероховатость поверхности детали по чертежу; интенсивность изнашивания; припуск на обработку. Коэффициенты регрессии других факторов в рассмотренных диапазонах их варьирования составляют величины второго и выше порядка малости.

На втором этапе эксперимент проводился с целью исследования влияния наиболее значимых факторов на гамма-процентную наработку до отказа в более широком диапазоне их возможного изменения. Для этого величины малозначимых факторов и дисперсии параметров фиксировались на номинальном уровне, а из четырех выбранных параметров фиксировалась на максимальном уровне допустимая шероховатость поверхности детали. Шероховатость поверхности, обработанной остро заточенным инструментом, варьировалась на двух предельных значениях (16 мкм и 30 мкм). Припуск на обработку и интенсивность изнашивания подвергались ступенчатому изменению в обе стороны от номинала до предельного значения с шагом, равным среднему квадратическому отклонению. Результаты исследования представлены объемными графиками на рисунке 2.

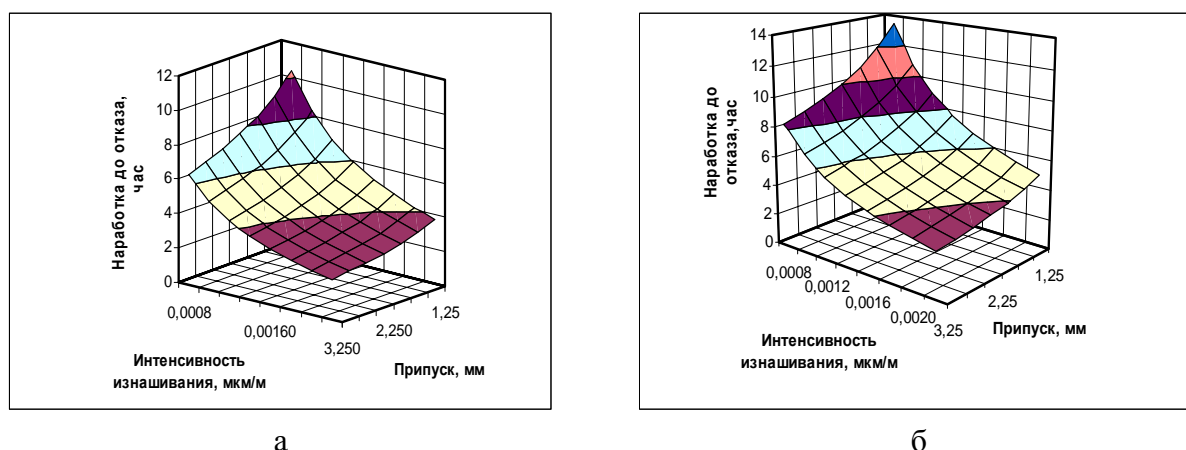


Рисунок 2 – Зависимость 80-процентной наработки до отказа от интенсивности изнашивания инструмента и припуска на обработку при начальной шероховатости поверхности, обработанной остро заточенным инструментом: а- $R_{z0}=16$ мкм; б- $R_{z0}=30$ мкм и конечной $R_{zmax}=250$ мкм

На поверхности отклика различными цветами показаны диапазоны значений наработки до отказа. Как видно, влияние выбранных факторов на надежность технологической системы обработки древесины весьма существенно: при их крайних значениях 80-процентная наработка может изменяться от 2,34 до 13,43 часа, то есть более чем в 5 раз. Влияние различных факторов существенно и сопоставимо между собой. То есть одного и того же результата в повышении надежности можно достичь повышением износостойкости инструмента или уменьшением припуска на обработку, или уменьшением шероховатости в начальный период обработки.

Повышение износостойкости инструмента является традиционным путем, однако и самым дорогостоящим.

Уменьшение припуска на обработку по сравнению с рекомендуемым ГОСТ 7228-75 возможно путем получения столярных заготовок не непосредственно из про-

дукции лесопиления, а, например, переработкой необрезных пиломатериалов в заготовки круглопильных или фрезерно-пильных станках, дающих более высокую точность и меньшую шероховатость поверхностей, подлежащих дальнейшему фрезерованию.

Уменьшение шероховатости в начальный период обработки может быть достигнуто увеличением остроты (уменьшением начального радиуса затупления) и повышением точности установки инструмента.

Проведенные теоретические исследования позволяют расчетным путем определять рациональный период стойкости инструмента по принятому показателю и намечать пути его повышения за счет наиболее экономически целесообразных и технически возможных решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. [Текст]. Взамен ГОСТ 22954-78; введ. 1986-07-01. М.: Госстандарт России: изд-во стандартов, 2002. 18 с.
2. Глебов И.Т. Справочник по резанию древесины [Текст] / Глебов И.Т., Новоселов В.Г., Швамм Л.Г.; Урал.гос.лесотехн.акад. Екатеринбург, 1999. – 190 с.
3. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. [Текст]. Введ. 1997-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1996. 10 с.
4. Новоселов В.Г. Расчет безотказности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «шероховатость поверхности» [Текст]/ В.Г.Новоселов// Изв. Санкт-Петербургской гос. лесотехн. акад. – СПб, 2006. – Вып. 3. – С. 178-184.
5. Моисеев А.В. Износостойкость дереворежущего инструмента. [Текст] / А.В.Моисеев. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. 112 с.
6. ГОСТ 7307-75. Детали из древесины и древесных материалов. Припуски на механическую обработку. [Текст]. Введ. 1977-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 15 с.
7. ГОСТ 7016-82 Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности [Текст]. Введ. 1983-07-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 8 с.